

EVALUASI PERFORMA SIKLUS PEMBANGKIT *STEAM* MENGGUNAKAN SIKLUS RANKINE DENGAN PERBANDINGAN PENAMBAHAN *HEATER* DAN TANPA *HEATER* PADA UNIT UTILITAS INDUSTRI PUPUK

Noufal Fachriansyah dan Anang Takwanto

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia

nfachria@gmail.com ; anang.takwanto@polinema.ac.id

ABSTRAK

Listrik memiliki peran penting bagi kehidupan manusia. Kebutuhan listrik paling besar adalah sektor industri dimana menggunakan lebih dari 32% konsumsi listrik di Indonesia. Industri tidak sepenuhnya memakai pasokan listrik dari PLN, tetapi mereka juga menggunakan pembangkit listrik sendiri untuk mencegah jika terjadi pemadaman. Salah satu pembangkit listrik yang digunakan industri adalah *Gas Turbine Generator* (GTG). Pada unit utilitas industri pupuk menggunakan sistem pembangkit *steam* untuk menggerakkan generator dengan bahan bakar gas. Sedangkan, pada siklus pembangkit *steam* pada unit utilitas industri pupuk permasalahannya yaitu tidak mampu meningkatkan performa siklus pembangkit *steam* tanpa mengubah laju alir sirkulasi, tekanan sistem, dan temperatur sistem. Dengan kondisi tersebut dibutuhkan sebuah solusi agar performa yang dihasilkan menjadi lebih optimal. Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi performa siklus pembangkit *steam* ketika menggunakan *heater* atau tanpa menggunakan *heater* untuk menentukan performa siklus pembangkit *steam* yang optimal dengan analisa kinerja menggunakan siklus Rankine tanpa mengubah parameter proses. Sehingga dari hasil perhitungan dan analisis data didapatkan bahwa siklus pembangkit *steam* menggunakan *heater* menghasilkan daya keluaran dari turbin yang lebih besar yaitu 513,13 kJ/kg. Jika dibandingkan dengan tanpa penambahan *heater* dengan keluaran daya dari turbin sebesar 462 kJ/kg, maka dengan penambahan *heater* lebih optimal.

Kata kunci: *daya, generator, pembangkit listrik, turbin*

ABSTRACT

Electricity plays an important role in human life. The biggest demand for electricity is the industrial sector which uses more than 32% of electricity consumption in Indonesia. Industries do not fully use electricity supply from PLN, but they also use their own power plants to prevent blackouts. One of the power plants used by the industry is Gas Turbine Generator (GTG). In the fertilizer industry utility unit uses a steam generator system to drive generators with gas fuel. Meanwhile, in the steam generator cycle in the fertilizer industry utility unit, the problem is that it is unable to improve the performance of the steam generator cycle without changing the circulation flow rate, system pressure, and system temperature. Under these conditions, a solution is needed so that the resulting performance becomes more optimal. The purpose of this research is to evaluate the performance of the steam generator cycle when using a heater or without using a heater to determine the optimal performance of the steam generator cycle by analyzing the performance using the Rankine cycle without changing the process parameters. So from the results of calculations and data analysis, it is found that the steam generator cycle using a heater produces a greater turbine output power of 513.13 kJ/kg. When compared to without the addition of a heater with a power output from the turbine of 462 kJ/kg, the addition of a heater is more optimal.

Corresponding author: Anang Takwanto

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang

Jl. Soekarno-Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia

E-mail: anang.takwanto@polinema.ac.id



Keywords: power, generator, power plant, turbine

1. PENDAHULUAN

Listrik memiliki peran penting bagi kehidupan manusia [1]. Energi listrik merupakan jenis energi yang paling banyak dibutuhkan dimana kebutuhan listrik di Indonesia mencapai 1.173 kWh/kapita pada tahun 2022 [2]. Pasokan listrik didapatkan dari pembangkit listrik dengan bahan bakar yang digunakan dapat berupa batubara (padat), minyak (cair), atau gas [3]. Kebutuhan listrik paling besar adalah sektor industri dimana menggunakan lebih dari 32% konsumsi listrik di Indonesia [4]. Industri tidak sepenuhnya memakai pasokan listrik dari PLN, tetapi mereka juga menggunakan pembangkit listrik sendiri untuk mencegah jika terjadi pemadaman.

Salah satu pembangkit listrik yang digunakan industri pupuk di unit utilitas adalah GTG Turbin gas adalah salah satu jenis motor bakar dimana energi dari arus pembakaran dikonversikan menjadi energi mekanik melalui udara bertekanan yang memutar roda turbin sehingga menghasilkan tenaga putar [5]. Pembangkit ini adalah menggunakan gas sebagai bahan bakar untuk menggerakkan generator dan pembangkit listrik [6]. Sedangkan penggerak generator adalah *steam*, dan *steam* diperoleh dari pembangkit *steam*.

Sedangkan, pada siklus pembangkit *steam* pada unit utilitas industri pupuk permasalahannya yaitu tidak mampu meningkatkan performa siklus pembangkit *steam* tanpa mengubah laju alir sirkulasi, tekanan sistem, dan temperatur sistem. Dengan kondisi tersebut dibutuhkan sebuah solusi agar performa yang dihasilkan menjadi lebih optimal. Dengan kondisi yang ada, daya yang dihasilkan diharapkan lebih optimal dengan tanpa mengubah parameter yang ada.

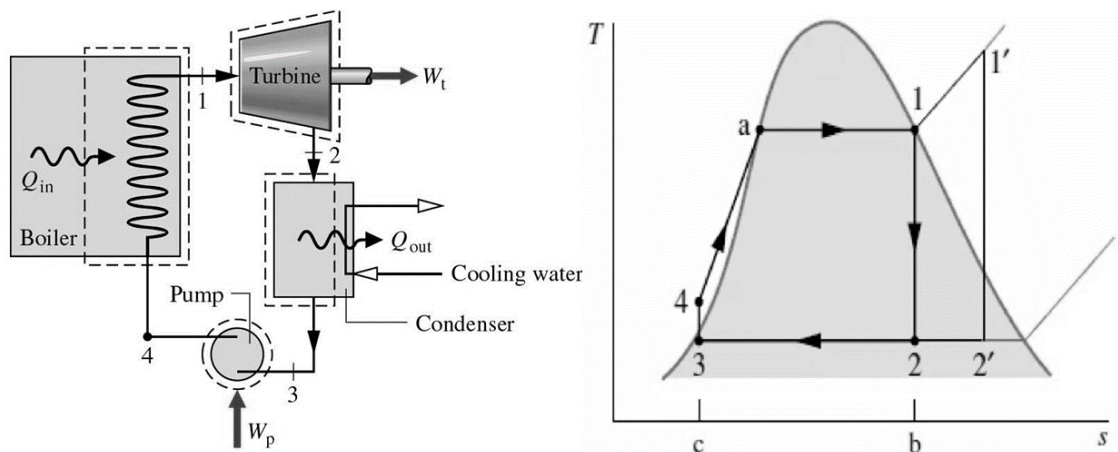
Peningkatan performa sangatlah penting bagi perusahaan untuk memperoleh keberhasilan pada proses usahanya [7]. Hal ini dibutuhkan solusi untuk meningkatkan efektivitas performa dari sistem pembangkit *steam* lebih optimal. Peningkatan sistem pembangkit *steam* pada unit utilitas industri pupuk bisa menggunakan *heater* atau tanpa *heater*. Kemudian analisa dari peningkatan efisiensi suatu pembangkit uap secara termodinamika bisa menggunakan siklus Rankine. Siklus Rankine adalah sebuah siklus konversi energi panas menjadi kerja [8]. Rankine terdiri dari empat proses utama yaitu kompresi isentropik, penambahan panas isobarik, ekspansi isentropik, dan pelepasan panas isobarik [9]. Proses ekspansi isentropik pada siklus Rankine terjadi di dalam turbin uap, di mana energi panas dari uap bertekanan tinggi dikonversi menjadi energi mekanik untuk memutar poros turbin. Oleh karena itu, performa turbin sangat bergantung pada kondisi termodinamika uap yang masuk. Memastikan kinerja turbin tetap stabil dan efisien maka hal yang perlu dilakukan adalah pemantauan kinerja termodinamika dan pemeliharaan secara berkala [10]. Kinerja turbin juga dipengaruhi oleh beberapa parameter seperti getaran, posisi aksial rotor, dan temperatur bantalan dari turbin gas juga mempengaruhi kinerja turbin gas [11].

Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi performa siklus pembangkit *steam* ketika menggunakan *heater* atau tanpa menggunakan *heater* untuk menentukan performa siklus pembangkit *steam* yang optimal dengan analisa kinerja menggunakan siklus Rankine tanpa mengubah parameter proses.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan berdasarkan pendekatan kuantitatif dengan mengumpulkan data-data operasi di unit utilitas industri pupuk. Selanjutnya melakukan analisis menggunakan siklus Rankine pada sistem pembangkit *steam* dengan menggunakan *heater* dan tanpa menggunakan *heater* untuk menentukan keluaran daya yang optimal pada pembangkit *steam*. Data diambil dari unit utilitas industri pupuk tanpa mengubah parameter proses. Analisis daya dari sistem pembangkit *steam* menggunakan siklus Rankine akan dijelaskan pada Gambar 1.

Siklus Rankine menjadi standar untuk pembangkit daya dengan menggunakan uap [12]. Siklus Rankine ideal yang biasa digunakan yaitu sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram siklus Rankine

Siklus terdiri dari 4 proses yaitu:

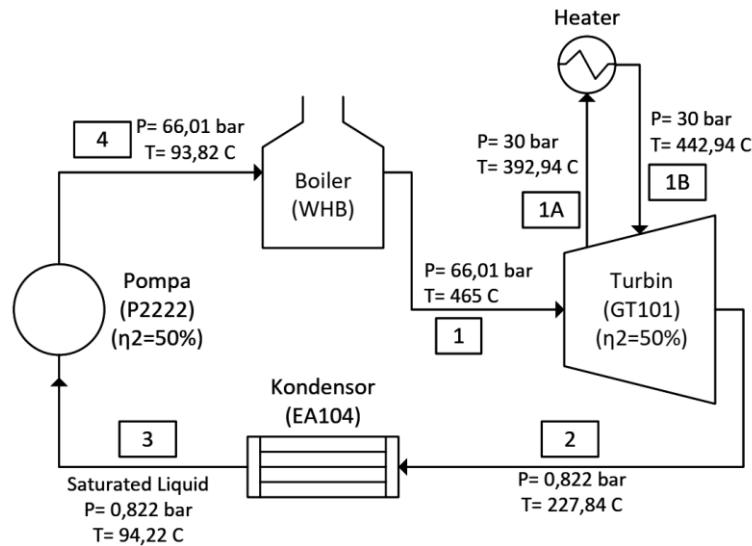
1. Proses 3 – 4 : kompresi isentropik pada pompa kemudian menuju ke kondisi 4 dalam daerah cairan hasil dari kompresi.
2. Proses 4 – 1 : perpindahan panas ke fluida kerja ketika mengalir di tekanan konstan melalui boiler untuk menyelesaikan siklus.
3. Proses 1 – 2 : ekspansi isentropik dari fluida kerja melalui turbin dari uap jenuh pada kondisi 1 sampai mencapai tekanan c.
4. Proses 2 – 3 : perpindahan panas dari fluida kerja mengalir di tekanan konstan melalui *condenser* dengan cairan jenuh pada kondisi 3.

Siklus pembangkit *steam* terdiri dari beberapa bagian yaitu boiler, turbin, *condenser*, dan pompa. Prinsip kerjanya, air dimasukkan ke dalam boiler dan dipanaskan menggunakan bahan bakar, menghasilkan uap panas yang disebut *steam*. *Steam* yang panas ini kemudian dialirkan ke dalam turbin uap, di mana uap ini mengalami ekspansi adiabatik (tanpa perpindahan panas). Proses ini mengubah energi panas ke energi kinetik, yang menggerakkan poros turbin. Uap yang telah mengalami ekspansi adiabatik kemudian dialirkan ke dalam kondensor, di mana uap ini mengalami ekspansi isentropis (tanpa perubahan entropi). Proses ini mengubah energi kinetik menjadi energi panas, yang dilepaskan ke lingkungan. Uap yang telah mengalami ekspansi isentropis kemudian dipompa kembali ke boiler untuk mengulangi siklus [13].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

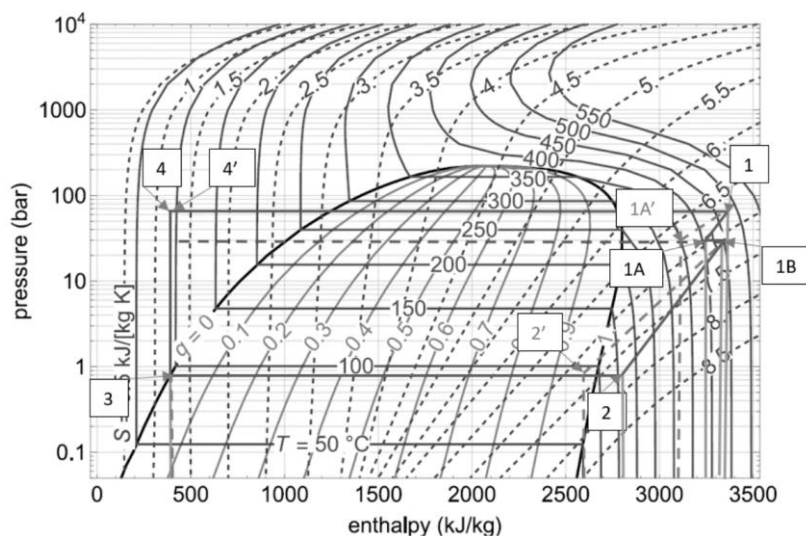
3.1. Data Hasil Perhitungan Kondisi Operasi Sistem Pembangkit *Steam* dengan Tambahan *Heater*

Kondisi operasi dari sistem pembangkit *steam* pada industri pupuk ketika dengan penambahan *heater* tampak pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir siklus pembangkit *steam* dengan tambahan *heater*

Siklus pembangkit *steam* di industri pupuk dapat di tingkatkan daya turbinnya dengan menambahkan *heater*. Daya turbin dapat ditingkatkan tanpa mengubah laju alir siklus, tekanan, dan temperatur, yaitu dengan cara memanaskan *steam* yang melewati sudu turbin. Pemanasan ini dilakukan di *heater* yang berada di luar turbin. Dari data pada Gambar 2 maka dapat dilihat pada Gambar 3 Diagram P-h H₂O untuk menentukan entropi, enthalpi, temperatur, dan tekanan di setiap titiknya.



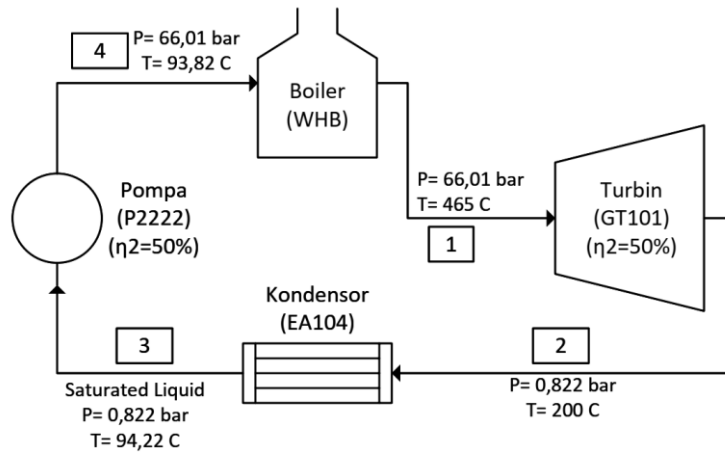
Gambar 3. Grafik P-h siklus pembangkit *steam* dengan tambahan *heater*

Tabel 1. Hasil perhitungan dari diagram P-h H₂O untuk siklus pembangkit *steam* dengan tambahan *heater*

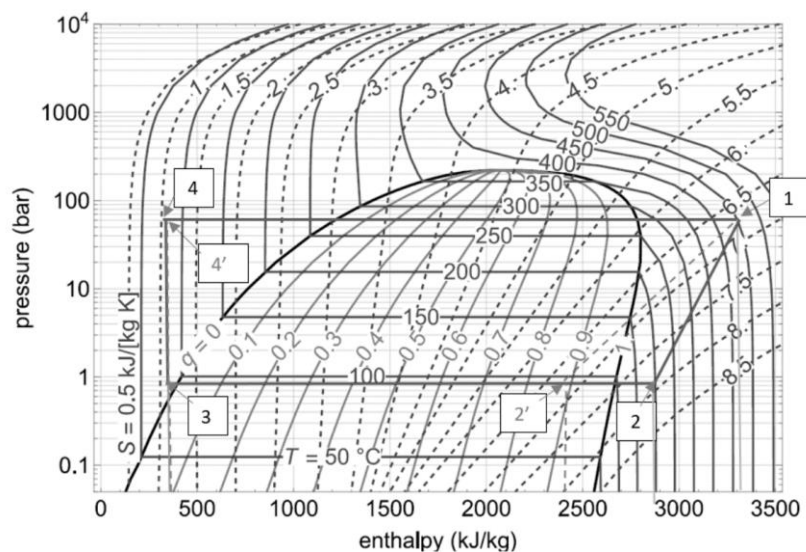
Aliran	P (bar)	T (°C)	S (kJ/kg.K)	H (kJ/kg)
1 (ke HP Turbin)	66,01	465	6,7	3331,1
1A (ke <i>Heater</i>)	30	392,94	6,9	3216
1B (ke LP Turbin)	30	442,94	7,06	3329
2 (ke Kondenser)	0,822	227,84	8,04	2931
3 (ke pompa)	0,822	94,22	1,24	394,79
4 (ke boiler)	66,01	93,82	1,24	398,09

3.2. Data Hasil Perhitungan Kondisi Operasi Siklus Pembangkit *Steam* dengan Tanpa Tambahan *Heater*

Kondisi operasi dari sistem pembangkit *steam* pada industri pupuk ketika dengan tanpa penambahan *heater* tampak pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram alir siklus pembangkit *steam* dengan tanpa tambahan *heater*



Gambar 5. Grafik P-h siklus pembangkit *steam* dengan tanpa *heater*

Tabel 2. Hasil perhitungan dari diagram P-h H₂O untuk siklus pembangkit *steam* dengan tanpa tambahan *heater*

Aliran	P (bar)	T (°C)	S (kJ/kg.K)	H (kJ/kg)
1 (ke Turbin)	66,01	465	6,72	3331,14
2 (ke Kondenser)	0,822	200	7,91	2869,1
3 (ke Pompa)	0,822	94,22	1,24	394,79
4 (ke Boiler)	66,01	93,82	1,24	398,09

3.3. Perbandingan Daya yang di Hasilkan

Hasil analisis perbedaan siklus sistem pembangkit *steam* ketika penambahan *heater* dan tanpa penambahan *heater* maka didapatkan perbedaan jumlah daya yang dihasilkan oleh kedua siklus tersebut yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Tabel perbandingan sistem pembangkit *steam* dengan penambahan *heater* dan tanpa *heater*

W/Q	Tanpa Heater (kJ/kg)	Pakai Heater (kJ/kg)
Daya turbin	462	513,3
Daya pompa	3,3	3,3
Beban Kondensor	2474,3	2536,4
Beban Boiler	2933	2933
Beban Heater	-	113

Pada Tabel 3 terlihat perbandingan sistem pembangkit *steam* dengan penambahan *heater* dan tanpa penambahan *heater* terhadap daya turbin, daya pompa, beban kondensor, beban boiler dan beban *heater*. Bisa dilihat untuk perbedaan daya turbin yang dihasilkan dari sistem pembangkit *steam* tanpa pemberian *heater* dan sistem pembangkit *steam* dengan penambahan *heater* menunjukkan daya turbin yang dihasilkan dengan penambahan *heater* memiliki nilai yang lebih tinggi. Oleh karena itu bisa disimpulkan bahwa siklus pembangkit *steam* dengan adanya tambahan *heater* di luar sudu turbin akan berpengaruh terhadap daya turbin yang dihasilkan. Penambahan *heater* dapat meningkatkan efisiensi thermal dan daya keluaran dari turbin hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya [14]. *Heater* akan memanfaatkan *steam* dari keluaran boiler dan dipanaskan kembali sebelum melewati sudu turbin sehingga beban dari operasional turbin menjadi lebih ringan selain itu uap yang masuk ke turbin memiliki *enthalpi* lebih tinggi yang mengakibatkan daya turbin meningkat karena energi uap lebih tinggi. Dengan demikian adanya penambahan *heater* mampu menaikkan daya turbin yang sebelumnya 462 kJ/kg menjadi 513,3 kJ/kg. Kenaikan pada beban dan daya, dimana ketika beban naik maka konsumsi bahan bakar juga pasti akan naik [15], namun masih diperlukan penelitian lebih lanjut dengan menghitung bahan bakar gas yang digunakan untuk menentukan efisiensi dari segi ekonomis.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisa pengaruh penambahan *heater* dan tanpa penambahan *heater* terhadap daya keluaran turbin dari sistem pembangkit *steam* didapatkan nilai optimal ketika penambahan turbin yaitu daya naik sebesar 513,13 kJ/kg, yang awal nya tanpa penambahan *heater* hanya menghasilkan daya sebesar 462 kJ/kg.

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah menghitung berapa bahan bakar gas yang digunakan ketika menggunakan *heater* dan tanpa menggunakan *heater* untuk menentukan efisiensi dari segi ekonomis.

REFERENSI

- [1] G. Dwiguna dan A. Mubarak, "Implementasi Pengembangan Energi Baru Terbarukan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) oleh Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Provinsi Sumatra Barat di Solok Selatan," *Jurnal Mahasiswa Ilmu Administrasi Publik*, vol. 2, no. 4, hal. 28–35, 2020.
- [2] A. A. Solikah dan B. Bramastia, "Systematic Literature Review : Kajian Potensi dan Pemanfaatan Sumber Daya Energi Baru dan Terbarukan Di Indonesia," *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 5, no. 1, hal. 27–43, Mar. 2024.
- [3] S. Oktaviani, Sri H. Siregar, R. Fauzi, R. Reflis, dan S. P. Utama, "Gangguan Ekosistem Laut sebagai Dampak Keberadaan PLTU Teluk Sepang Bengkulu: Sebuah Telaah Pustaka," *INSOLOGI: Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 2, no. 6, hal. 1061–1068, Dec. 2023.
- [4] A. K. N. Al Huda, "Trnasisi Energi di Indonesia: Overview & Challenges," *Buletin Pertamina Energy Institute*, vol. 9, no. 2, hal. 1–14, 2023.
- [5] B. A. Wibowo, "Analisis kinerja turbin gas (GT 3.1) PLTGU Muarakarang setelah masa konstruksi sesuai ISO 2314:2009 Corresponding Author," *Journal of New Energies and Manufacturing (JONEM)*, vol. 1, no. 1, pp. 8–21, 2022.
- [6] S. Sanjaya dan H. Wijaksana, "Kajian Teknis Antara Penggunaan Bahan Bakar HSD dan MFO Sebagai Bahan Bakar Alternatif Pengganti LNG di PLTDG PT. Indonesia Power UPJP Bali," *Jurnal Mahasiswa Universitas Udayana*, vol. 8, no. 2, hal. 75–80, 2019.
- [7] M. Sayuti dan S. Maulinda, "Analisis Efektivitas Gas Turbine Generator dengan Metode Overall Equipment Effectiveness," *Jurnal INTECH Teknik Industri Universitas Serang Raya*, vol. 5, no. 1, hal. 7–10, Jul. 2019.
- [8] P. Pratiwi dan Z. Hadi, "Proses Produksi pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap dan Perhitungan Efisiensi Termal: Studi Kasus PLTU Teluk Sirih," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 12, no. 1, hal. 26–31, Apr. 2022.
- [9] O. W. Irawan, L. S. Pratama, dan C. Insani, "Analisis Termodinamika Siklus Pembangkit Listrik Tenaga Uap Kapasitas 1500 kW," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 5, no. 3, hal. 109–119, 2021.
- [10] N. H. Island, "Kaji Performa Turbin Gas Sebelum dan Setelah Overhaul Combustion Inspection di GTG Utilitas PT Petrokimia Gresik," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2017.
- [11] V. A. Mulyono, "Analisis Kinerja Turbin Gas MS7001EA," *Praxis : Jurnal Sains, Teknologi, Masyarakat dan Jejaring*, vol. 4, no. 2, hal. 107–105, 2022.

- [12] A. Vizenza dan J. Sasetiyanto, "Analisis Unjuk Kerja Siklus Rankine Sebelum dan Sesudah Overhaul pada PLTU Unit 2 PT. BJB UP Gresik," *Vokasi*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2017.
- [13] M. Mustangin, H. Saptyaji, M. Fellando, dan S. Romi, *Turbin Uap: Prinsip, Start-up, Perawatan, Penunjangnya*, vol. 1. Poltek LPP Press, 2018.
- [14] U. Mulyo Sugeng, B. Setiadi, V. Hadi, dan Sugianto, "Analisis Pengaruh High Pressure Heater terhadap Turbine Heat Rate dan Pemakaian Batu Bara di PLTU 1 X 600 MW," *PRESISI*, vol. 25, no. 2, hal. 28–35, 2023.
- [15] A. Syahidin, S. Setiawidayat, dan Faqih, "Analisis Efisiensi Thermal Untuk Menentukan Beban Optimal Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas Menggunakan Metode Siklus Brayton," *JASEE Journal of Application and Science on Electrical Engineering*, vol. 1, no. 2, hal. 1–15, Feb. 2020.